

어류의 수축성 근섬유단백질의 온도 적응성에 관한 연구

신완철 · 송재철 · 홍상필* · 양 용*
울산대학교 식품영양학과, *연세대학교 식품공학과

Study on the Temperature Adaptation of Contractile Myofibrillar Proteins from Fish Species

Wan-Chul Shin, Jae-Chul Song, Sang-Pill Hong, Ryung Yang

Department of Food and Nutrition, University of Ulsan, Ulsan

*Department of Food Engineering, Yonsei University, Seoul

Abstract

To investigate on the biochemical characteristics of myofibrillar proteins between cold(pollack, salmon) and warm current fish (yellow corbina, shark), myofibrils and actomyosin were prepared, and their biological activities, effect of temperature on the myofibrillar ATPase activities and SDS-polyacrylamide gel electrophoretic patterns of myofibrils were compared. SDS-polyacrylamide gel electrophoretic analysis showed that electrophoretic patterns of myofibril vary from fish to fish. Difference in KCl concentration dependency of myofibrillar ATPase activities and ATPase activity- pH curve were found among fish species. Myofibrillar proteins from cold current fish showed higher specific activity at low temperature (5°C-10°C) than those from warm current fish.

Key words: fish myofibrillar proteins, temperature adaptation of proteins

서 론

다수의 근섬유(muscle fiber)와 비교적 소량의 지방세포(fat cell), 건(tendon), 혈관, 신경섬유 등이 모여 구성된 근육은 동물의 특징적 기능인 운동을 담당하는 근육조직을 구성하고 있다. 운동기능은 동물체의 가장 중요한 기능의 하나이므로 근육을 구성하는 근섬유의 구성단백질에 대한 연구는 1938년 이후 체계적으로 진행되어 그 생화학적 성질 및 구조와 기능의 관계에 대한 많은 정보들이 제공되고 있다^(1~9).

이들 연구결과로부터 밝혀진 근원섬유 구성단백질에는 myosin⁽¹⁾, actin⁽²⁾, troponin^(3,4,5), tropomyosin^(4,5), α , β , γ -actinin^(6,9), M-protein^(7,9) 그리고 C-protein⁽⁹⁾ 등이 있으며 이들 단백질들은 근육내에서 ATP 그리고 무기 ion들과 상호작용하여 화학적 energy를 기계적 energy로 효율적으로 전환시켜 주고 있으므로 고도로 정밀한 화학기계로 취급될 수 있다고 주장되고 있다^(10~15).

장되고 있다^(1,2,9). 그러므로 구조단백질인 동시에 기능단백질로써 근섬유상에 질서정연하게 배열되어 운동기능을 나타내는 근원섬유 단백질은 세포학적으로는 세포내 꿀격성분이며⁽¹¹⁾ 근세포의 형태유지는 물론 biological machine을 구성하고 있으며 이에 대한 생화학적인 연구는 주로 포유동물의 근육을 실험재료로 이루어졌고⁽⁹⁾ 동물의 생활환경, 분류학상의 차이, muscle type의 차이에 따른 생화학적인 특성에 대하여 수종의 동물에 걸쳐 다양하게 연구되고 있다^(10~15).

그러나 산업적인 측면에서 비중이 크고 국민의 식생활에 중요한 식량자원이 되고 있는 수산물에 대해서는 생물학적 생태학적 연구 및 가공기술에 관한 연구는 비교적 이루어지고 있으나^(15,16) 생체내에서의 생화학적 특성에 대해서는 자세한 연구가 이루어지고 있지 않는 실정이다. 그런데, 어육을 주원료로 한 sausage나 ham의 품질은 어류의 근원섬유 단백질이 결정적 역할을 하는 것으로 주장되고 있으며^(16,17), 또한 어류의 근원섬유 단백질은 환경요인에 따라 그 특이성을 나타낼 것으로 예상되므로 운동기능 담당 생체성분인 근수축성 단백질의 생화학적 특

Corresponding author: Ryung Yang, Department of Food Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749

성을 밝히는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다고 생각되었다.

본 연구에서는 5°C~10°C의 온도내에 서식하는 한류성 어류와 10°~30°C의 온도내에 서식하는 난류성 어류의 근수축성 단백질을 추출 정제하여 그 생화학적인 특성을 비교하였으며, 환경온도의 변화가 구조단백질의 생물활성에 여하히 반영되는 가에 대한 정보를 얻고자 하였다.

재료 및 고찰

실험재료

본 실험에서의 시료는 신촌시장에서 구입한 鮮魚로 선도에 문제점이 없다고 판별되는 것으로 선택하였다. 한류성 어류인 연어와 명태, 난류성 어류인 상어와 조기의 꿀꺽근을 취하여 혈합육, 지방 및 결체조직등을 제거한 후 사용하였으며 실험에 사용한 어류의 분류는 다음과 같다.

한류성 어류(5°C~10°C)⁽¹⁷⁾

1. 명태(Pollack, *Theragra chalcogramma*)

2. 연어(Salmon, *Salmonidae*)

난류성 어류(10°C~30°C)⁽¹⁷⁾

1. 조기(Yellow corbina)

2. 상어(Shark, *Mustelus manazo*)

실험방법

근원섬유 단백질의 조제 : Myofibril의 조제는 Yang의 방법⁽¹⁰⁾에 따라 조제하였으며 actomyosin의 조제는 Szent-Györgyi의 방법⁽¹⁸⁾에 따라 조제하였다.

ATPase 활성 측정 : 0.25mg/ml myofibrillar proteins, 1mM MgCl₂, 10mM CaCl₂ 혹은 1mM EDTA, 1mM ATP, 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0)의 혼합액을 25°C에서 5분간 반응시켰다. 반응은 최종 농도 4%인 TCA를 첨가하여 ice bath 상에서 정지시켰다.

ATPase의 활성은 1mg의 효소단백질에 의하여 1분간 유리되어 나오는 무기인산(Pi)의 μmole로 표시하였다.

전기영동 분석 : SDS polyacrylamide gel electrophoresis는 Weber 등⁽¹⁹⁾에 의해 기술된 continuous system과 Laemmli⁽²⁰⁾의 discontinuous system을 이용하여 slab gel apparatus에서 행하였다.

단백질 용액은 0.01M sodium phosphate buffer(pH 7.0), 1% SDS(w/v), 1% β-mercaptoethanol 그리고 일정농도(1~5mg/ml protein)의 단백질을 혼합하여 끓는 물에서 3분간 boiling 시킨 후 5분간 원심분리하여 얻은 상등액을 사용하였다.

0.1% SDS가 첨가된 7.5%와 12.5%의 gel 상에 30mA의 전류가 흐르도록 하여 실온에서 각각 5시간 및 6.5시간동안 수직영동시켰다. 전기영동후 gel은 Coomassie brilliant R-250으로 염색하였으며 탈색은 1차 용액(MeOH : acetic acid : 중류수=25 : 8 : 65)에 3~4시간 담가둔 후, 2차 용액(MeOH : acetic acid : 중류수=2 : 3 : 35)에서 완전히 이루어졌다.

단백질 분자량 측정을 위한 표준단백질로는 α-lactalbumin(14,200), trypsin inhibitor(20,100), trypsinogen(24,000), carbonic anhydrase(29,600), glyceraldehyde phosphate dehydrogenase(36,000) ovalbumin(45,000), serum albumin(67,000)을 사용하였다.

단백질 농도의 측정 : 단백질 농도는 biuret 방법⁽¹¹⁾에 의하여 측정되었다. 검량선은 bovine serum albumin을 micro-Kjeldahl 법으로 분석하여 작성되었다.

결과 및 고찰

근원섬유 구성단백질의 전기영동상의 비교

Connel 등⁽²¹⁾은 근원섬유 단백질의 전기영동상은 어종에 따라 지문과 같이 매우 특징적인 차이를 나타내나 토끼와 대구의 주요 근원섬유 단백질의 초원심상은 매우 유사하다고 하였다. 한편 Seki⁽²²⁾는 SDS polyacrylamide gel 전기영동에 의하여 분자량이 27K~14K 범위내인 3개의 light chain이 어류의 종류에 따라 특이하다는 사실로부터 어종의 판정에 이용될 수 있다고 하였다. 또한 Pearson 등⁽²³⁾은 myofibril의 구성단백질의 함량에 관하여 언급하고 있으며 Billeter⁽²⁴⁾, Young 등⁽²⁵⁾은 muscle type에 따라 myosin의 heavy chain 및 tropomyosin의 band pattern이 다르게 나타날 수 있다고 하였다. 따라서 각종 어류의 근원섬유를 조제하고 근원섬유 단백질의 조성을 7.5%와 12.5%의 SDS-polyacrylamide gel slab 전기영동상으로 분석하였다.

Fig. 1의 연어, 명태, 상어 그리고 조기의 근원섬유 단백질의 전기영동상에는 actin과 myosin의 heavy

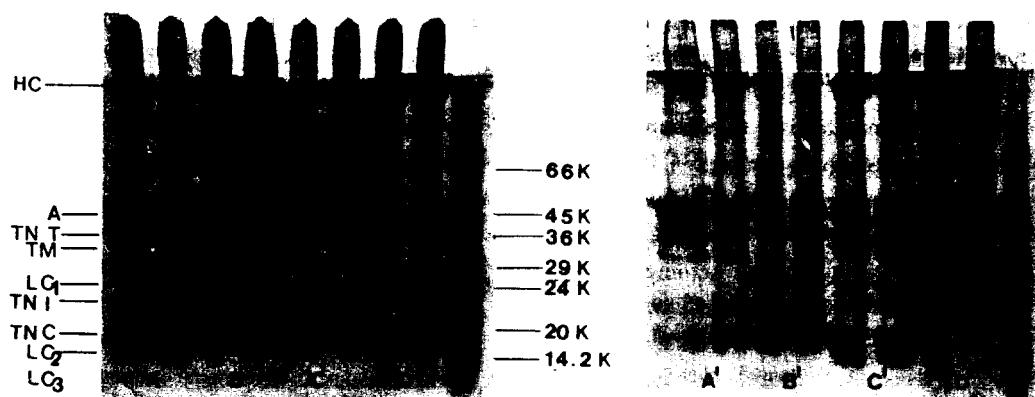


Fig. 1. Comparison of 7.5% SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of myofibrill and actomyosin from various fish species.

A: Pollack MF	A': Pollack AM
B: Salmon MF	B': Salmon AM
C: Corbina MF	C': Corbina AM
D: Shark MF	D': Shark AM
K: Kit	

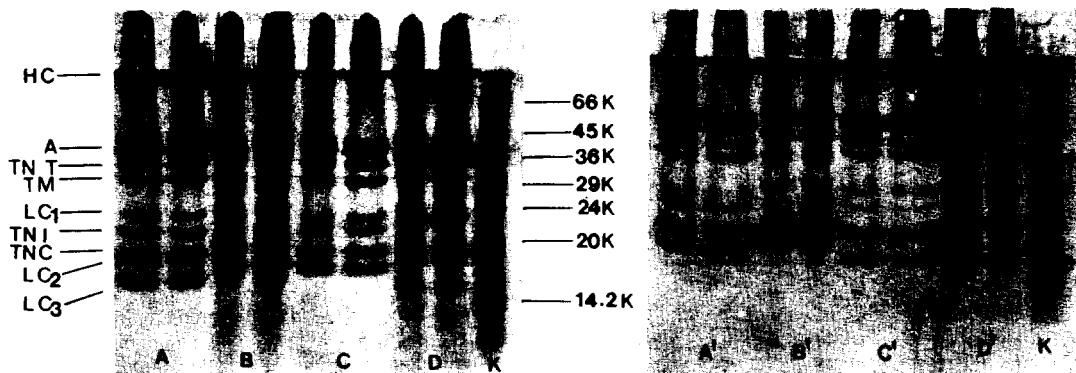


Fig. 2. Comparison of 12.5% SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of myofibril and actomyosin from various fish species.

A: Pollack MF	A': Pollack AM
B: Salmon MF	B': Salmon AM
C: Corbina MF	C': Corbina AM
D: Shark MF	D': Shark AM
K: Kit	

chain을 포함한 light chain 및 troponin 성분들이 나타나고 있다. 명태와 조기의 band pattern은 유사하나 연어는 troponin T(37K)부분의 이동 pattern에서 차이가 있고 상어는 light chain의 이동 pattern뿐만 아니라 SDS-PAGE의 band 수에서도 차이가 나타나고 있다. 한편 12.5%의 gel에서는 이동 속도가 빠른 성분들

의 어종간의 차이가 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다.

이상의 결과는 어류의 근섬유 단백질은 운동을 하는 기능 및 형태면에서는 본질적으로 유사성을 나타내나 근섬유 단백질의 구성성분은 어종간에 명확한 차이가 있음을 보여주고 있다.

근원섬유 단백질의 생물활성의 비교

Mg 이온은 저이온 강도에서 actomyosin ATPase 활성을 증가시키나 고이온 강도에서는 저해하는 것으로 알려지고 있다⁽²⁶⁾. myofibril의 thin filament는 actin과 tropomodulin-tropomyosin complex에 의해 형성되고 있으므로^(1,9,27) myofibril의 Mg-ATPase 활성도 Mg 이온에 의한 dual effect가 나타날 것으로 예상되었다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 actomyosin의 Mg-ATPase 활성은 저이온강도 ($\mu=0.03\sim0.05$)에서 Fig. 4의 myofibril의 경우보다 높은 활성 및 이온강도의존성을 나타내는 반면 근육에 가까운 구조를 가진 myofibril은 상어의 경우를 제외하고 이온강도 의존성이 낮게 나타나고 있다.

따라서 근수축기작에 관련된 2가 이온인 Mg에 의한 활성은 한류성 및 난류성 어류 모두가 유사한 pattern을 보여 주고 있으며, 이 결과는 Ozawa 등⁽²⁸⁾이 보고한 결과와 일치되고 있으나 Yang 등⁽²⁹⁾이 보고한 bovine muscle과 chicken muscle의 그것보다 이온강도 의존성이 크게 나타나고 있다.

Yang 등⁽¹⁰⁾은 근원섬유 단백질의 ATPase 활성의 이

온강도 의존성은 근원섬유 단백질의 steric integrity를 반영하는 것이라 하였으며 따라서 Fig. 4의 결과는 포유류의 근섬유와 비교하여 어류의 근섬유는 막조직의 함량이 극히 낮고 길이가 짧고 굵어 해엄치기에 편리할 뿐만 아니라 항상 움직이고 높은 운동성을 유지하는^(13,14) 어류 근섬유의 특성을 반영하는 것으로 해석되었다.

한편 근육운동의 조절기작에 관한 연구는 Ebashi 등⁽³⁰⁾의 Sr을 이용한 Ca binding protein인 tropomodulin의 규명과 함께 *in Vivo* system에서의 근수축 조절물질로써 Ca의 조절기능이 밝혀짐으로써 Ca과 tropomodulin, actin, myosin, tropomyosin 등 근원섬유 단백질의 상호작용에 의한 근수축—이완의 분자론적인 기작을 이해하는 것이 가능하게 되었다. 따라서 myofibril과 actomyosin의 Ca-ATPase 활성은 근육운동 속도의 차이^(31,32) 또는 sarco plasmic reticulum에서의 Ca 이온 축적능력⁽¹¹⁾등 생물기능의 차이를 반영할 것으로 생각되었다.

Fig. 5와 Fig. 6에 나타낸 바와 같이, 각종 어류의 actomyosin 및 myofibril은 Ca-ATPase 활성에 차이를 나타내고 있으나 모두가 저이온 강도에서 높은 활성을 나타내고 있다. 그러나 이와 같은 결과는 고이온 강도에서 높은 활성을 보이는 연체류와는 전혀 다른⁽³⁴⁾한편 육

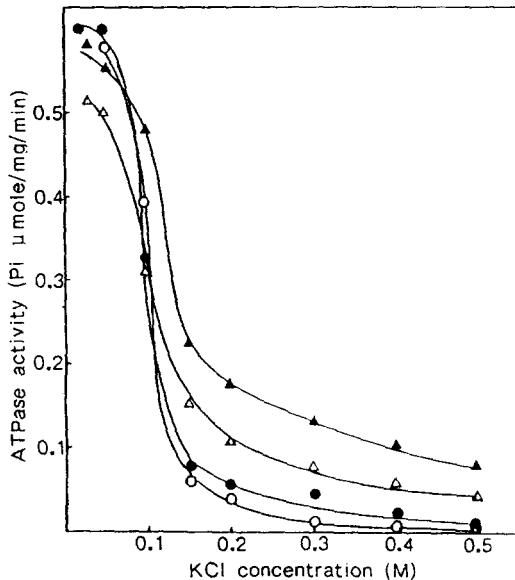


Fig. 3. Effect of KCl concentration on the Mg-activated ATPase activity of actomyosin from various fish species.
Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP 1mM MgCl₂, 0.25mg/ml AM
●: Pollack, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

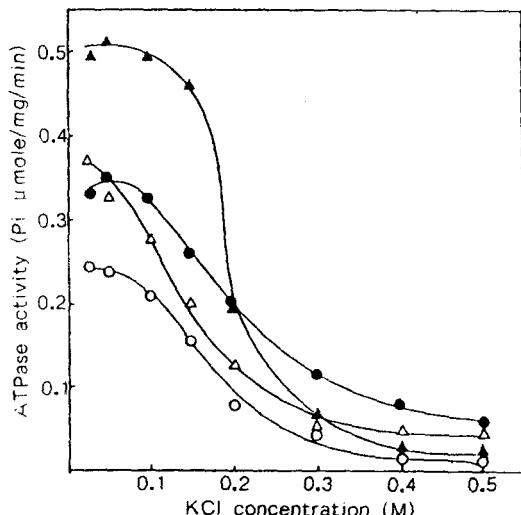


Fig. 4. Effect of KCl concentration on the Mg-activated ATPase activity of myofibril from various fish species.
Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP 1mM MgCl₂, 0.25mg/ml MF
●: Pollack, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

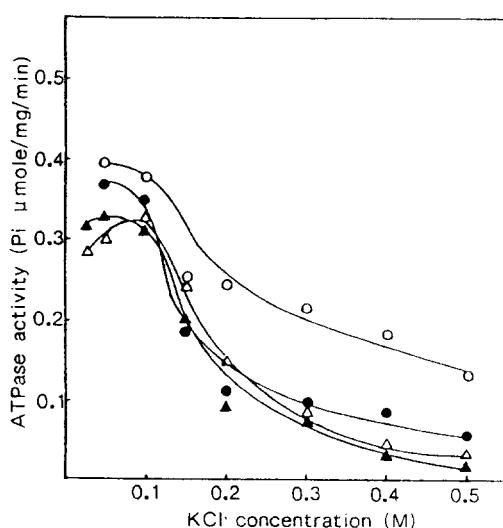


Fig. 5. Effect of KCl concentration on the Ca-activated ATPase activity of actomyosin from various fish species.
Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP 10mM CaCl₂, 0.25mg/ml AM
●: Pollack, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

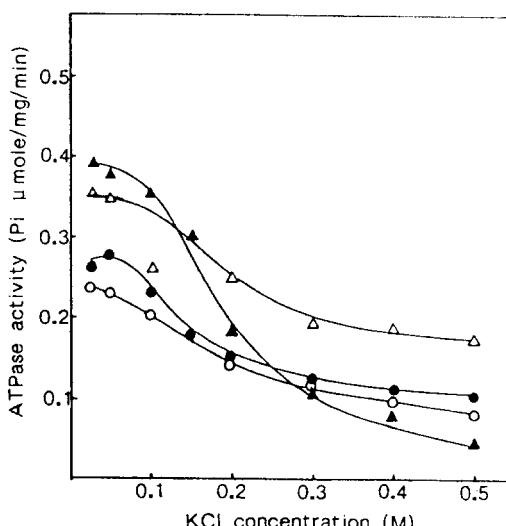


Fig. 6. Effect of KCl concentration on the Ca-activated ATPase activity of myofibril from various fish species.
Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP 10mM CaCl₂, 0.25mg/ml MF
●: Pollack, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

상동물인 소 및 닭의 actomyosin이 최대활성을 나타내

는 이온강도 ($\mu=0.15$)에 비하여⁽¹¹⁾ 어류 actomyosin은 약간 더 낮은 이온강도 ($\mu=0.05\sim 0.1$)에서 최대활성을 나타내고 있을 뿐 유사한 활성양상을 보이고 있다. 따라서 이 상의 결과로부터 생물의 종류에 따라 Ca-ATPase 활성의 세기는 물론 Ca 조절기능의 차이 또는 활성의 이온강도 의존성에도 생물학적인 특징이 있는 것으로 추정되었다.

Bowen 등⁽³⁵⁾에 의하면 고이온 강도에서의 actomyosin의 EDTA-enhanced ATPase 활성은 actomyosin 중의 myosin 성분에만 기인한다고 밝히고 있어 myosin 유래의 활성을 비교하는 데에는 EDTA-ATPase 활성의 측정이 좋은 방법으로 알려지고 있다.

Fig. 7과 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 actomyosin 및 myofibril의 EDTA-ATPase 활성은 이온강도의 증가에 따라 증가하였으며 actomyosin(Fig. 7)이 myofibril(Fig. 8)보다 이온강도 0.4이상에서 활성이 더 높게 나타나고 있다. 그런데, Bowen 등⁽³⁵⁾의 보고에 따르면 myosin의 EDTA-ATPase 활성은 actin의 공존에 의하여 저하한다고 하였다. 이러한 관점에 비추어 상어와 연어의 EDTA-ATPase 활성이 낮은 것은 actin의 공존의 영향뿐 아니라 thick filament에 결속되어 있는 myosin의 존재상태의 영향등이 나타나기 때문인 것으

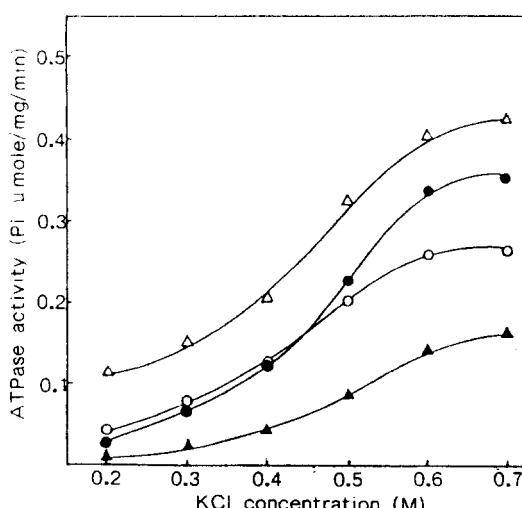


Fig. 7. Effect of KCl concentration on the EDTA-enhanced ATPase activity of actomyosin from various fish species.
Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP 1mM EDTA, 0.25mg/ml AM
●: Pollack, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

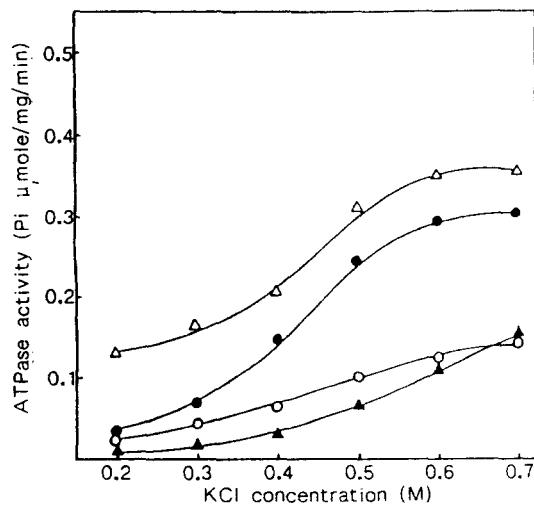


Fig. 8. Effect of KCl concentration on the EDTA-enhanced ATPase activity of myofibril from various fish species.

Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP 1mM EDTA, 0.25mg/ml MF

●: Pollock, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

로 추정되었다.

이상의 Mg-ATPase, Ca-ATPase, EDTA-ATPase 활성을 비교하였을 때 어종에 따라 활성의 세기에는 차이가 있으나, 이온강도의 의존성이 유사하게 나타난다는 사실과 SDS-polyacrylamide gel slab 전기영동상으로부터 최소운동장치인 근원섬유는 그 형태와 기능의 면에서 본질적으로 유사하다는 사실이 확인되었다.

그러므로 어류 근원섬유 단백질의 생화학적 특성을 더욱 더 추적하기 위하여 근원섬유 단백질의 ATPase 활성에 대한 pH의 존성을 조사하였다.

Fig. 9와 Fig. 10에 나타낸 바와 같이, 어류 근원섬유 단백질의 pH-activity curve는 actomyosin과 myofibril의 경우에 유사하게 나타나고 있으나 어종에 따라 두렷한 차이를 나타내고 있다. 상어와 연어의 경우는 약산성(pH 6.0~7.2) 및 약알카리성(pH 8.0~9.0) 부근에서 극대 활성을 나타내고 중성(pH 7.5~8.0)에서 극소의 활성을 나타내는 biphasic response를 보이고 있으나 명태와 조기의 경우 알칼리영역(pH 8.0<)에서 활성의 상승현상이 보이지 않고 있다.

Tokuyama 등⁽²⁶⁾은 myosin ATP 용액계에 actin이나 iodoacetate와 같은 화학수식체가 존재할 경우에 biphasic response가 일어날 수 있다고 보고하였다. 또

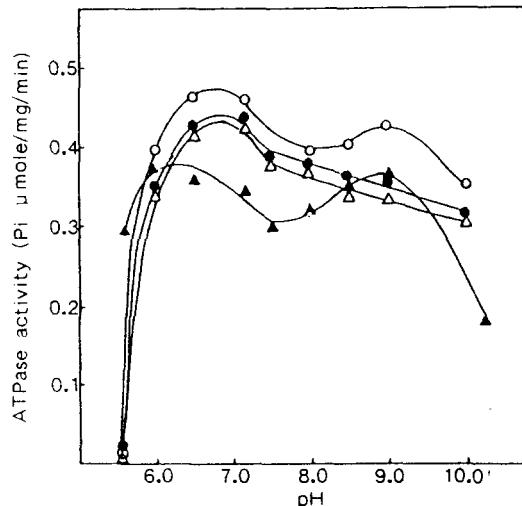


Fig. 9. Effect of pH on the Ca-activated ATPase activity of actomyosin from various fish species.

Enz. assay: 0.1M KCl, 10mM CaCl₂, 1mM ATP, 0.25mg/ml MF

Buffer system: pH 5-7; 25mM Tris-maleate buffer
pH 7-9; 25mM Tris-HCl buffer

pH 9-10; 25mM Carbonate-bicarbonate buffer
●: Pollock, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

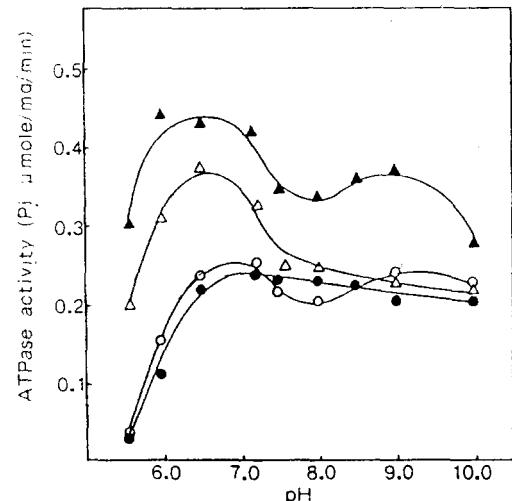


Fig. 10. Effect of pH on the Ca-activated ATPase activity of myofibril from various fish species.

Enz. assay: 0.1M KCl, 10mM CaCl₂, 1mM ATP, 0.25mg/ml MF

Buffer system: pH 5-7; 25mM Tris-maleate buffer
pH 7-9; 25mM Tris-HCl buffer

pH 9-10; 25mM Carbonate-bicarbonate buffer
●: Pollock, ○: Salmon, ▲: Shark, △: Corbina

한 myosin의 아미노산 배열은 종마다 일정하지 않고 진화과정 또는 생물의 특성에 따라 차이가 있는 것으로 밝혀지고 있다⁽³³⁾.

따라서 biphasic response를 나타내는 명태와 조기의 pH activity curve는 myosin의 생화학적인 특성의 차이를 반영하는 것으로 추론되었으며, 어류의 근수축성 단백질의 ATPase 활성이 어종에 따라 차이를 나타내는 것은 동물의 운동기전 또는 환경조건과 관련이 깊은 것으로 예상되었다.

근원섬유 단백질의 ATPase 활성과 환경온도와의 관계

어류의 근수축성 단백질의 전기영동상 및 각종 생물활성은 어종에 따라 차이가 나타나고 있으나 한류성 어류와 난류성 어류사이에 명확한 차이는 관찰되지 않았다. 그런데 명태는 5°C~10°C에서 서식하는데 비하여 상어는 10°C~30°C에서 서식하는 것으로 알려져 있다⁽¹⁷⁾. 따라서 한류성 어류의 근원섬유는 저온에서도 높은 활성을 유지함으로써 필요운동량을 충당하고 있을 것으로 예상되었다. 또한, Bendall⁽³⁶⁾은 온혈동물 및 냉혈동물의 근원섬유단백질 Mg-ATPase 활성에 대한 온도의 영향을 검토하고 높은 체온을 유지하는 온혈동물의 Ea 값이 냉혈동물의 그것보다 높게 나타난다고 하였으며, Johnston 등⁽¹³⁾도 한대어류와 열대어류 사이에 이와같은 차이가 있다고 하였다. 그러므로 각온온도와 밀접한 관계가 있는 Ea 값의 차이는 환경온도 적응 및 rate compensation에 중요한 영향을 미치는 것으로 예상하였다.

Fig. 11은 명태와 상어의 actomyosin ATPase의 활성을 0°C~30°C의 온도범위에서 비교한 것으로 한류성 어류인 명태의 actomyosin ATPase 활성이 환경온도 부근인 5°C~10°C에서 상어의 그것에 비해서 약 2배의 높은 활성을 보이고 있다. 이러한 결과는 명태의 actomyosin ATPase가 저온에 적응하고 있음을 나타내는 것으로 해석되었으며, Fig. 12의 myofibril ATPase의 온도 의존성의 결과에서도 확인되었다.

Fig. 12에 나타낸 바와 같이, 명태의 myofibril ATPase가 5°C~10°C 부근에서 상어의 그것보다 약 1.5배 높은 활성을 보여주고 있어 한류성 어류의 근원섬유 구성 단백질의 저온 적응성이 *in situ* system인 myofibril의 Ca-ATPase 활성에서도 확인되었다. 이와 같은 결과로부터 동물의 구조단백질에 속하는 myofibril 및 actomyosin은 환경온도에 대하여 명확한 온도 적응성(temperature adaptation)을 나타내는 것으로 결론지었다.

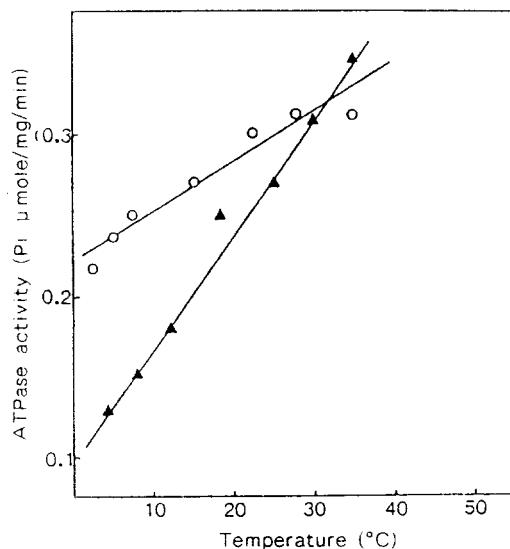


Fig. 11. Effect of temperature on the specific Co-ATPase activity of actomyosin from Shark(▲) and Pollack(○) dorsal muscle.
Enz. assay: 0.1M KCl, 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP, 10mM CaCl₂, 0.25mg/ml AM

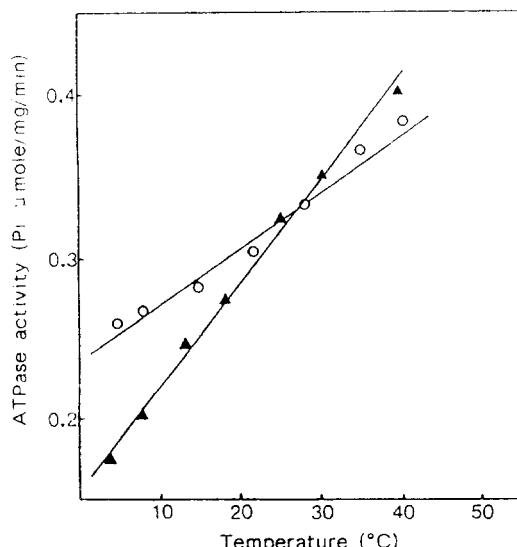


Fig. 12. Effect of temperature on the specific Co-ATPase activity of myofibril from Shark(▲) and Pollack(○) dorsal muscle.
Enz. assay: 0.1M KCl, 25mM Tris-HCl buffer(pH 8.0), 1mM ATP, 10mM CaCl₂, 0.25mg/ml MF

요 약

한류성 어류(연어, 명태)와 난류성 어류(상어, 조기)의 근원섬유 단백질의 생화학적인 특성을 규명하기 위하여 각각으로부터 actomyosin과 myofibril을 조제하여 생물활성 및 SDS-polyacrylamide gel 전기영동상을 조사하였으며, 또한 어류의 환경온도에 대한 적응성을 알아보기 위하여 생물활성의 온도 의존성을 조사하였다.

각 어류의 myofibril의 SDS-polyacrylamide gel 전기영동상으로부터 SDS-PAGE pattern은 어종간에 차이를 보였으며 또한 myofibril과 actomyosin의 생물활성과 activity-pH curve도 어종간에 차이를 나타내었다.

한류성 어류인 명태의 근원섬유 단백질의 ATPase의 활성은 환경온도(5°C~10°C) 부근에서 상어보다 높은 활성을 나타내었다.

감사의 말

본 연구는 수축성 근원섬유 단백질의 환경온도 적응성에 관한 연구의 제1보로 1987년도 전반기 한국과학재단 연구비로 수행된 것이다. 저자들은 연구비를 지원하여준 한국과학재단에 심심한 사의를 표하는 바이다.

문 헌

- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. and Watson, J.D. : Cytoskeleton. In *Molecular biology of the cell*, Garland Publishing, Inc., New York & London, p.549(1983)
- Pollard, T.D. and Cooper, J.A. : Actin and Actin binding proteins. *Ann Rev. Biochem.*, **55**, 987(1986)
- Potter, J.D. and Gergely, J. : The Ca and Mg binding sites on troponin and their role in the regulation of ATPase. *J. Biol. Chem.*, **250**, 4628(1975)
- Hitchcock, S.E. Huxley and Szent-Györgyi, A.G. : Ca-sensitive binding of troponin to actin-tropomyosin. *J. Mol. Biol.*, **80**, 825(1973)
- Kuroda, M. and Maruyama, K. : α -Actinin, a new protein from rabbit skeletal muscle. *J. Biochem.*, **80**, 32(1976)
- Porzio, M.A., Pearson, A.M. and Cornforth, D.P. : in *Meat Sci.*, **3**, 31(1979)

- Morimoto, K. and Harrington, W.F. : Evidence for structural changes in vertebrate thick filaments induced by Ca. *J. Mol. Biol.*, **88**, 693(1974)
- Mikawa, T., Nonomura, Y., Hirata, J. and Ebashi, S. : Involvement of an acidic protein in regulation of smooth muscle contraction by the tropomyosin-leotonin system. *J. Biochem.*, **84**, 1633(1978)
- Robson, R.M., Oshea, J.M. and Huiatt, T.W. : Role of new cytoskeletal elements in maintenance of muscle integrity. *J. Food Biochem.*, **8**(1), 1(1984)
- Yang, R., Okitani, A. and Fugimaki, M. : Postmortem changes in regulatory proteins of rabbit muscle. *Agri. Biol. Chem.*, **42**, 555(1978)
- 신완철 : 근원섬유 단백질의 종특성과 열 안정성에 관한 연구. 연세대학교 박사학위 논문(1985)
- Yang, R., Shin, W. C., Oh, D.W., Jhin, H.S. and Kim, K.T. : Comparison of biochemical characteristics of myofibrillar proteins from red muscle and white muscle. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **18**, 173(1986)
- Johnston, I.A. and Goldspink, G. : Thermodynamic activation parameters of fish myofibrillar ATPase enzyme and evolutionary adaptation to temperature. *Nature*, **257**, 620(1975)
- Hashimoto, A., Kobayashi, A. and Arai, K. : Thermostability of fish myofibrillar Ca-ATPase and adaptation to environmental temperature. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **48**(50), 671(1982)
- Halmes, W.N. and Donaldson, E.M. : In *Fish Physiology*, ed. Academic Press, New York. Vol. 1, 80(1973)
- Yasui, T., Ishioroshi, M. and Samejima, K. : Heat-induced gelation of myosin in the presence of actin. *J. Food Biochem.*, **4**, 61(1982)
- 우전도옹 : 해양어장학, 항성사 후생각, 동경(1960)
- Szent-Gyorgyi, A. : in *The chemistry of muscular contraction*, 1st rev. Academic Press, New York(1947)
- Weber, K. and Osborn, M. : The reliability of molecular weight determination by dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406(1969)
- Laemmli, U.K. : Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 380(1970)
- Connel, J.J. : Ultracentrifugal analysis of codling extracts. *Biochem. J.*, **69**, 5(1958)

22. Seki, N. : Identification of fish species by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of the myofibrillar proteins. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **42**, 1169(1976)
23. Pearson., A.M., Wolzak, A.M. and Gray, J.I. : Possible role of muscle proteins in flavor and tenderness of meat. *J. Food Biochem.*, **7**, 189(1983)
24. Billeter, R., Heizman, C.W., Howald, H. and Jenny, E. : Analysis of myosin light and heavy chain types in single human skeletal muscle fibers. *Eur. J. Biochem.*, **116**, 389(1981)
25. Young, O.A. and Davey, C.L. : Electrophoretic analysis of proteins from single bovine muscle fibres. *Biochem. J.*, **195**, 317(1981)
26. Tokuyama, H. and Tonomura, Y. : Effect of trinitrophenylation of myosin on the decomposition of phosphoryl myosin. *J. Biochem.*, **62**, 456(1967)
27. Endo, M., Nonomura, Y., Masaki, T., Ohtsuki, I., and Ebashi, S. : Localization of native tropomyosin in relation to striation pattern. *J. Biochem.*, **60**, 605(1966)
28. Ozawa, I. and Maruyama, K. : *Scientific paper of the college of general education*. Univ. of Tokyo, **18**, 261(1968)
29. Yang, R., Park, H.J., Kim, Y.H., Jhin, H.S. and Shin, W.C. : Comparative biochemical study on the myofibrillar proteins from porcine muscle. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **18**, 443(1986)
30. Ebashi, S., Kodama, A. and Ebashi, F. : Troponin I, preparation and physiological function. *J. Biochem.*, **64**, 465(1968)
31. Cassens, R.G. and Cooper, C.C. : Red and white muscle. in *Advance in Food research*. **19**, p.1(1971)
32. Reis, D.J., Moorhead, D. and Wootton, G.F. : Differential regulation of blood flow to red and white muscle in sleep and defense behavior., *Amer. J. Physiol.*, **217**, 541(1969)
33. Hoppe, W., Lohmann, W., Markl, H. and Ziegler, H. : in *Biophysics*, Springer Verlag, New York, p. 570(1983)
34. 김영호 : 연체류의 근원섬유 단백질에 관한 연구. 연세대학교 석사학위 논문(1984)
35. Bowen, W.J. and Kerwin, T.B. : A study on the effect of EDTA on myosin ATPase. *J. Biol. Chem.*, **211**, 237(1954)
36. Bendall, J.R. : In *Muscle, Molecules and Movement*(Barnett, S.A., ed). Heineman, London, p. 51(1969)

(1988년 2월 23일 접수)